

Е. К. МАРХИНИН, Л. А. БАШАРИНА, О. Г. БОРИСОВ,
В. Н. БОРИСОВА, В. Б. ПУГАЧ, К. М. ТИМЕРБАЕВА, П. И. ТОКАРЕВ

ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНОВ КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППЫ И ВУЛКАНА ШЕВЕЛУЧ В 1958—1959 гг.

ВВЕДЕНИЕ

В течение 1958—1959 гг. вулканы Ключевской группы и вулкан Шевелуч находились в состоянии относительного покоя. Наблюдались слабые пепловые выбросы из главного жерла Ключевского вулкана, продолжалась слабая фумарольная деятельность на некоторых побочных кратерах. Активизировалась деятельность вулкана Безымянного. В его кратере продолжал расти юный экстррузивный купол, поднявшийся за год приблизительно на 50 м. Рост купола сопровождался небольшими выбросами пепла. На агломератовом потоке Безымянного фумарольная деятельность продолжала затухать. У вулкана Плоский Толбачик наблюдалась умеренная фумарольная деятельность, которая прерывалась редкими и небольшими пепловыми выбросами. Другие вулканы Ключевской группы активности не проявляли. Вулкан Шевелуч, как и в предыдущие годы, находился в стадии обычной сольфатарной деятельности.

Изучение состояния вулканов заключалось, с одной стороны, в визуальных наблюдениях, замерах температур и исследовании фумарольных газов, с другой — в изучении сейсмических явлений, связанных с жизнедеятельностью вулканов, а также в постановке магнитометрических и гравиметрических наблюдений на отдельных участках.

В настоящей статье кратко излагаются предварительные результаты проведенного изучения. Статья включает материалы предварительных отчетов Л. А. Башариной (температурный режим и газовый состав фумарол побочных кратеров Ключевского вулкана, вулканов Безымянного и Шевелуч), О. Г. Борисова (явления вторичного парового разогрева участка поверхности агломератового потока), В. Н. Борисовой (данные по росту купола вулкана Безымянного, результаты облета Ключевских вулканов 12 октября 1959 г. и посещения вулкана Безымянного в октябре 1959 г.), Е. К. Мархинина (данные о пепловом извержении вулкана Безымянного в марте 1958 г.), В. Б. Пугач (магнитометрические и гравиметрические исследования), К. М. Тимербаевой (визуальные наблюдения за вулканами Ключевской, Шевелуч, Толбачик, данные о поездке к вулкану Безымянному в октябре 1959 г.) и П. И. Токарева (сейсмические исследования). Общее руководство работами осуществлялось Е. К. Мархининым.

1. КЛЮЧЕВСКАЯ СОПКА

Визуальные наблюдения за состоянием вулкана

Наблюдения за состоянием вулкана вели К. М. Тимербаева, В. Н. Борисова, С. Н. Мархинина, О. Г. Борисов, В. Б. Пугач.

Из 472 дней наблюдения (с 16 сентября 1958 г. по 31 декабря 1959 г.) вершинный кратер Ключевского вулкана был открыт 232 дня. Деятельность его за этот период в основном сводилась к спокойному выделению газов.

Фумарольная деятельность была сосредоточена главным образом в восточной части кратера.

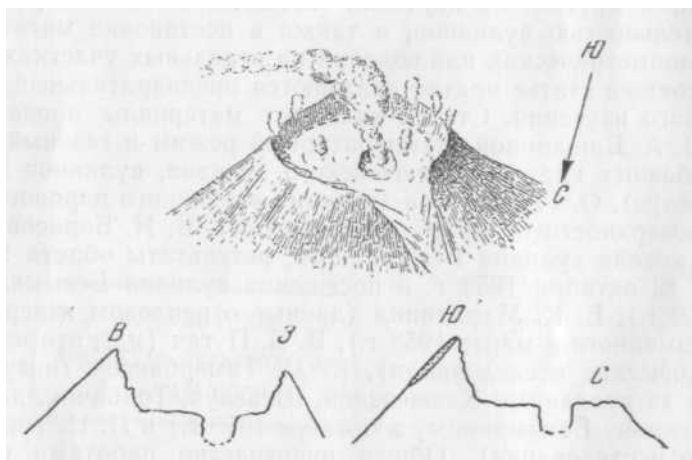
Слабая эруптивная деятельность Ключевского вулкана за указанный период отмечалась только 3 января 1959 г. В этот день в 10 час. 45 мин. наблюдался выброс пара с небольшим количеством пепла. Высота столба пара над кратером достигала 2,5 км. Облако пара с пеплом относилось ветром к северо-западу. 6 января 1959 г. в пос. Ключи была собрано 0,9 г с 1 м² пепла (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав пепла Ключевского вулкана (в %)
Аналитик М. И. Баранова

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O+	H ₂ O	Сум- ма
55,35	1,03	16,83	5,78	2,29	0,10	4,17	7,80	3,94	1,10	1,23	0,16	99,98

28 сентября 1959 г. группа альпинистов, в которую входили В. Н. Борисова и С. М. Трубицын, поднялась к кратеру Ключевской сопки. Было отмечено, что дно и стенки кратера покрыты светлыми налетами возгонов; на дне, примерно в центре кратера, имеется углубление округлой формы, из которого клубами поднимается пар, который иногда обра-



Фиг. 1. Кратер Ключевской сопки 12 октября 1959 г.

Рис. В. Н. Борисовой

зует красивую пинию над кратером вулкана. Из-за плохой погоды в кратер не спускались.

12 октября 1959 г., во время облета вулкана, его кратер был чист, только из отдельных фумарол в стенках и на дне кратера поднимались струйки пара и газа (фиг. 1).

Изучение газового состава и температурного режима фумарол побочных кратеров вулкана Ключевского

Фумаролы побочных кратеров, образовавшихся в 1938, 1945, 1956 гг., продолжали остывать. Остановимся на краткой характеристике фумарол побочных кратеров.

Кратер Заварицкого (извержение 1945 г.). На склоне конуса сохранились едва парящие выходы с температурой 60°. В газовой фазе обнаружен воздух в смеси с парами воды.

Кратер Левинсон-Лессинга (извержение 1945 г.), расположенный выше кратера Заварицкого, сохраняет на дне и стенках фумаролы с температурой 80—90°. В газовой фазе в основном содержатся пары воды, воздух и незначительные количества углекислого газа (0,09%).

Кратер Обручева (извержение 1945 г.) сохраняет едва заметные фумаролы с температурой до 80°. В газовой смеси отмечается в основном воздух и незначительные количества углекислого газа (до 0,15%). Возгоны не осаждаются. Конденсаты низкотемпературных фумарол представляют растворы со значением pH 5,6—6,2.

Кратеры Вернадского и Крыжановского (извержение 1956 г.) также находятся на грани полного остывания. В апреле 1959 г. оба кратера почти целиком были покрыты снегом.

Кратер Козей (извержение 1938 г.) сохраняет фумаролы с температурой 80—90°. В газовой фазе наряду с парами воды и воздухом содержится до 3,0% углекислого газа и до 0,65% водорода.

Кратер Билюкай, находящийся ниже кратера Козей и образовавшийся одновременно с ним, сохраняет на гребне фумаролы с температурой около 60°. В газовой смеси—пары воды и воздух.

Кратер Былинкиной (извержение 1951 г.). Наиболее активная фумарольная деятельность остается у побочного кратера Былинкиной. Фумаролы расположены на вершине конуса. Они существенно хлоридны и содержат незначительные количества фтористого водорода. В составе кислых газов: хлористый водород—0,16%, фтористый водород—0,01%, сернистый газ—0,20%. Водяного пара 18—26 мг/л. Совершенно исчезли фумаролы на поверхности лавового потока, излившегося из кратера Былинкиной.

Изучение сейсмической активности

За сейсмическими проявлениями вулканов производились непрерывные наблюдения под руководством П. И. Токарева на станции Ключи в 1958—1959 гг., а с октября 1958 г. и на вновь созданной станции Козыревск. За это время в районе Ключевского вулкана не произошло ни одного землетрясения, для которого можно было бы определить координаты эпицентра. Но было отмечено 42 слабых землетрясения (30—в 1958 г. и 12—в 1959 г.), по характеру записи которых и разности времен вступления продольной и поперечной волн, равной 3,0—4,8 сек., их, по видимому, можно отнести к землетрясениям вулкана Ключевского.

Усиление сейсмической активности происходило в феврале (четыре толчка), марте (восемь толчков) и ноябре (четыре толчка) 1958 г., а также в феврале (три толчка) и марте (четыре толчка) 1959 г.

Усиление фумарольной деятельности и слабые выбросы пепла из кратера вулкана наблюдались с Камчатской вулканостанции только 18 мая, 4, 10 и 18 июля 1958 г. и 3 января 1959 г. За это время станцией Ключи было отмечено только четыре землетрясения: 18 и 25 июня, 3 и 4 июля. Начиная с 16 мая и до конца июля, почти непрерывно отмечалось вулканическое дрожание с амплитудой 0,1 μ и периодом 0,6—0,3 сек. Возможно, что это дрожание связано с усилением фумарольной деятельности Ключевского вулкана.

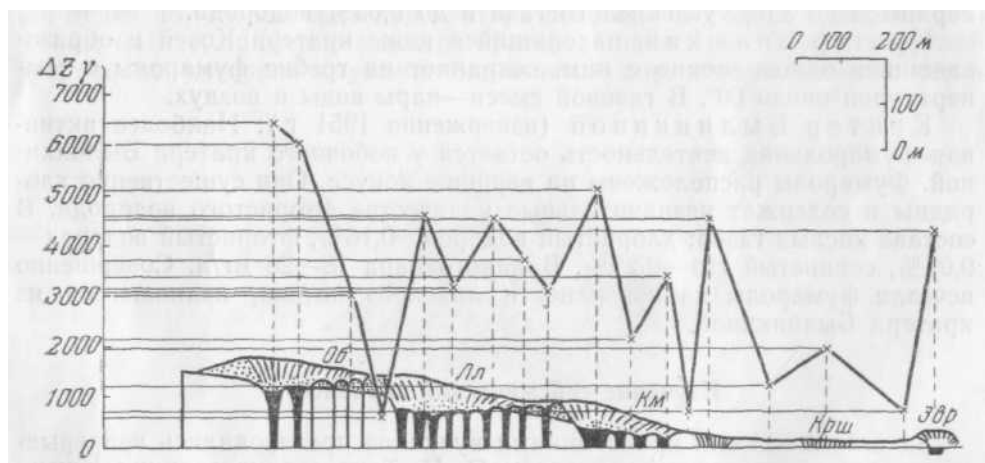
Магнитометрические исследования

Магнитометрические исследования проводились В. Б. Пугач в июле-августе 1959 г. в районе кратеров Юбилейного прорыва, а в сентябре этого же года—в районе сопки Средней.

Магнитометрические исследования в районе кратеров Юбилейного прорыва, образовавшихся в основном в 1945 г., имели целью выяснить характер аномалий для вертикальной составляющей магнитного поля над «живой» трещиной в теле вулкана, вдоль которой располагается цепь кратеров и последний лавовый поток из которой излился в 1956 г. (до сих пор на кратерах Юбилейного прорыва в ряде мест имеются выходы фумарол).

Съемка производилась магнитометром М-2 с ценой деления 30,4 γ . Значение ΔZ вычислено относительно нулевого пикета, сделанного на лавовом потоке кратера Заварицкого. Основным полученный результат сводится к следующему:

1. Над кратером воронками Юбилейной трещины наблюдаются максимумы отрицательных аномалий: ΔZ до 6000 γ (фиг. 2).



Фиг. 2. График ΔZ над кратерами Юбилейного прорыва, август 1959 г.
Кратеры: Об—Обручева; ЛЛ—Левинсон-Лессинга; КМ—Комарова; Крш—Крашенинникова;
Зер—Заварицкого.

2. Точки перевалов между воронками дают в общем минимумы аномалий ΔZ (порядка—600 γ), которые близки по своим значениям к общему фону района работ.

3. В целом вся трещина характеризуется повышенными значениями отрицательных аномалий по сравнению с параллельными ей профилями.

Основные кратерные воронки вдоль Юбилейной трещины дали следующие значения ΔZ (γ):

Кратер Заварицкого	3404
» Крашенинникова	1300
Воронка перед кратером Комарова	4513
Кратер Комарова	2612
» Левинсон-Лессинга	4000
Обручева	6000

Максимальное значение отрицательной аномалии (ΔZ 6400 γ) наблюдалось, однако, западнее Юбилейной трещины в пределах старого полуразрушенного и полузасыпанного кратера.

В настоящее время у нас нет возможности сделать обоснованное заключение о причинах, вызывающих крупные отрицательные значения ΔZ в кратерных воронках Юбилейной трещины, однако кажется логичным предположить, что они могут быть вызваны наличием на небольшой глубине под кратерными воронками горячих и, следовательно, немагнитных лавовых масс, размагничивающих вокруг себя и вмещающие породы.

В районе сопки Средней в секторе, ограниченном речкой Крутенькой и направлением от сопки Средней на Эульченук, замеры ΔZ сделаны в ста точках при расстоянии между точками 500 м (50 км профилей). Точки закреплены и замеры могут быть повторены в будущем. Съемка проведена по предложению В. И. Влодавца для целей вулканического районирования.

II. ВУЛКАН БЕЗЫМЯННЫЙ

1. Визуальные наблюдения за активностью вулкана

В течение 1958—1959 гг. было отмечено несколько случаев усиления активности вулкана. Наблюдения производились из Ключей, Козыревска и в поле от лавового потока Апахончич, от кратера Карпинского, от камня Амбон и от лагеря в районе Ледникового озера.

13 февраля 1958 г. в 9 час. утра в пос. Ключи из-за склона Ключевской сопки были видны белые клубы-облака, которые держались в течение всего дня. 14 февраля в Боровой (лесоучасток в 40 км к юго-западу от Безымянной) в течение всего дня происходил пеплопад.

21 мая того же года из пос. Ключи из-за Ключевской сопки на высоте 4,0—4,5 км были видны серые облака.

29 декабря 1958 г. утром в Ключах и в окрестностях на снегу был найден свежий пепел. Пеплопад в Ключах начался в ночь на 29 декабря и продолжался весь день.

Одновременно зафиксировано большое число толчков с эпицентром в районе вулкана Безымянного.

Вечером 29 декабря на территории вулканостанции было собрано в среднем 20,66 г пепла с 1 м² площади. Утром 31 декабря слабо-серый цвет поверхности снега отмечался даже в Эссо. По сообщению метеостанции из Эссо, количество выпавшего пепла составило там 1 г/м².

Анализ собранного в Ключах пепла показал следующий его состав (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав пепла, собранного в пос. Ключи 29 декабря (в %)

Аналитик М. П. Баранова

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O+	H ₂ O	Сум- ма
61,18	0,85	20,31	1,22	2,73	0,26	1,85	6,50	3,68	1,36	0,07	0,06	100,07

Судя по химическому составу, пепел принадлежит вулкану Безымянному.

Общее количество выброшенного пепла составляет не менее 100 тыс. т.

28 марта 1959 г. к вулкану Безымянному выехала экспедиция в составе Е. К. Мархинина, В. Б. Пугач и каюров А. В. Удачина и А. А. Тимошкина и наблюдала усиление его активности. Пепел вулкана, собравшийся в комочки под воздействием солнечных лучей, был встречен уже в 20—25 км к востоку от пос. Ключи.

29 марта 1959 г. наблюдения за вулканом Безымянным велись от лагеря у кратера Карпинского. В течение всего дня из-под западной части купола вулкана Безымянного выбрасывались пар и пепел через промежутки в среднем в 30—40 мин. (фиг. 3). При этом был слышен глухой громоподобный гул.



Из ключей 29 марта также были видны столбы пара из вулкана Безымянного, высота которых достигала 6,0 — 6,5 км. Всю ночь с 29 по 30 марта в окрестностях вулкана происходил пеплопад. Палатки в районе кратера Карпинского утром 30 марта были покрыты слоем пепла толщиной около 5 мм.

31 марта выбросы пепла из вулкана стали редкими. Е. К. Мархинин и В. Б. Пугач совершили подъем к кратеру вулкана. Толщина свежего пепла в кратере достигала 10 см. Из-за тумана и снегопада вершины купола ч западной части кратера видно не было.

В течение августа и сентября 1959 г. В. Н. Борисовой велись систематические наолюдения за сопкой Безымянной из

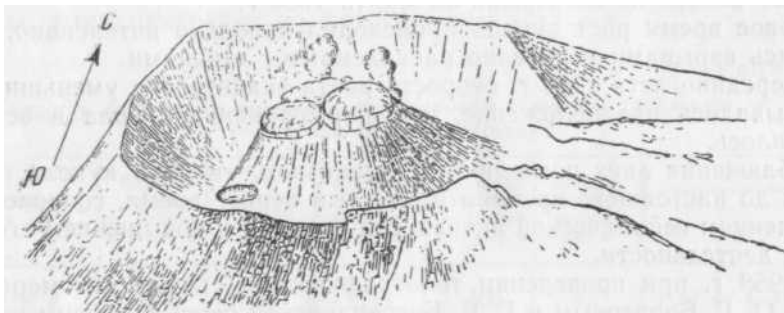
Фиг. 3 Извержение вулкана Безымянного
29 марта 1959 г.

Фото Е. К. Мархинина

лагеря, расположенного на агломератовом потоке в районе оз. Ледникового.

Из 44 дней наблюдений кратер был открыт 27 дней. Обычно он открывался утром, а ко второй половине дня затягивался густыми белыми облаками.

В течение всего периода наблюдений вулкан находился в состоянии покоя: спокойно выделялись пары и газы из кратера, иногда довольно обильные, и заполняли весь кратер. Наиболее интенсивные выделения были в западной (невидимой) части кратера, откуда столб пара поднимался порой на 3,5—4,0 км.



Фиг. 4. Кратер сопки Безымянной 12 октября 1959 г.

Рис. В. Н. Борисовой

Во время облета вулкана 12 октября 1959 г. фумарольная деятельность в кратере была не особенно интенсивной и поэтому детали строения кратера и купола были хорошо видны: крутые западные стенки кратера были покрыты белыми пятнами возгонов и верхняя часть купола представляла собой три отдельных округлых «короны». Под западной короной в дне кратера имелось небольшое и неглубокое углубление, вероятно взрывная воронка, из которой и происходили временами пепловые выбросы (фиг. 4).

26 октября 1959 г. из пос. Ключи во второй половине дня за Ключевской сопкой в районе сопки Безымянной была замечена светло-серая полоса, протягивающаяся в восточном направлении. В то же время усилилась сейсмическая деятельность вулкана. Поэтому в тот же день в район Безымянной выехала группа в составе геологов К. М. Тимербаевой и В. Н. Борисовой, каюра А. В. Удачина и шофера Ф. И. Жаркова.

Первые следы пепла были замечены приблизительно в 50 км к востоку от Ключей. Видимо, пеплопад произошел в ночь на 29 октября, так как, несмотря на теплую погоду, следы протаивания снега от пепла отсутствовали.

В середине дня 29 октября у лагеря близ лавового потока Апохончич количество пепла составляло $4,3 \text{ г/м}^2$. Пеплопад в районе лагеря у Апохончича происходил и в ночь с 29 на 30 октября. Утром, когда рассеялся туман, было отмечено, что высота столба пара и пепла над кратером сопки Безымянной достигает около 2 км. Хорошо оказалась видной граница распространения пепла.

В 11 час. дня пеплопад возобновился. Скорость выпадания пепла оказалась равной $0,017 \text{ мг/мин/см}^2$. Частые небольшие выбросы пара и пепла продолжались весь день. Общее количество пепла, выброшенного

вулканом Безымянным в конце октября, составляет не менее 40 тыс. т.

По наблюдениям С. В. Попова из Козыревска, небольшие выбросы пара и пепла продолжались и в начале ноября. Утром 4 ноября Е. К. Мархинин отметил столб паров и пепла над кратером вулкана Безымянного высотой около 2 км.

2. Инструментальные наблюдения за ростом кратерного купола вулкана Безымянного

Выжимание экструзивного купола в кратере вулкана Безымянного началось вскоре после взрыва 30 марта 1956 г.

Первое время рост купола происходил довольно интенсивно, сопровождаясь взрывами и нередко раскаленными лавинами.

К середине лета 1956 г. скорость роста значительно уменьшилась, и высказывалось предположение, что формирование купола в основном закончилось.

Наблюдения двух последних лет показали, что рост купола продолжается до настоящего времени и, как и в первое время, сопровождается усилением сейсмической активности вулкана и повышением его эруптивной деятельности.

В 1958 г. при проведении топографической съемки атломератового потока О. Г. Борисовым и Г. Е. Богоявленской были замерены вершина и основание купола.

Летом 1959 г. О. Г. Борисовым и В. Н. Борисовой производились систематические замеры размеров купола теодолитом марки ТМ-1. Одновременно для контроля делались засечки на устойчивые объекты—вершину вулкана Камень, высоту 1926,0 и вершину вулкана Шиш.

Результаты произведенных замеров приведены в табл. 3.

Определение абсолютной отметки вершины купола
(составила В. Н. Борисова)

Таблица 3

Дата	Точка стояния	Абсолютная отметка точки стояния	Точка визи-рования купола	Расстояние, м	Угол наклона	Превышение	Абсолютная отметка
2/VIII 1958	26	1011,5	Вершина	10445	9°14'	1698,3	2709,8
2/VIII 1958	26	1011,5	Основание	10445	7°05'	1298,3	2509,8
4/VIII 1959	26	1011,5	Вершина	10445	9°29'	1745,3	2756,8
6/VIII 1959	41	1032,0	"	9200	10°37'	1724,0	2756,0
11/IX 1959	41	1032,0	"	9200	10°37'45"	1725,5	2757,5
30/X 1959	Амбон	1007,2	"	10500	9°30'	1756,6	2763,8

Поскольку одновременно с ростом купола происходит его разрушение, под ростом купола подразумевается прирост.

С затуханием деятельности вулкана замедлился и рост купола. За четыре месяца, прошедшие после основного взрыва, он вырос на 320 м и скорость прироста составляла в среднем 2,13 м в день; за последующие же три года купол поднялся всего на 127,7 м, а скорость прироста составила в среднем только 11 см в день (см. табл. 4). Несколько увеличилась скорость роста купола в период последнего извержения вулкана, когда за полтора месяца высота его увеличилась на 6,3 м, что составляет 12,5 см в день.

Возможно, что интенсивный рост купола происходит во время повышенной сейсмической активности вулкана, как правило, сопровождающейся небольшими пепловыми выбросами. Во время спокойного состояния вулкана рост купола приостанавливается или очень замедляется.

Заметные изменения форм купола происходят за счет одновременного с ростом разрушения, а также в результате возможного неравномерного роста различных частей купола. Так, отмечено, что в 1959 г. повысилась в основном северная часть купола, в результате чего форма его приобрела сундучный вид.

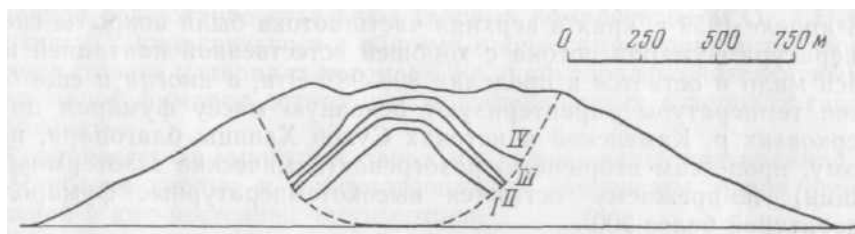
В табл. 4 приведены данные об изменении размера купола в течение трех с половиной лет его существования. Данные для 1956—1957 гг. получены путем измерения по фотоснимкам этих лет.

Таблица 4

Скорость прироста и изменение форм купола в течение 1956—1959 гг.
(составила В. Н. Борисова)

Время наблюдения	Высота купола от основания (h), м	Прирост купола, м	Средняя скорость прироста, м/день	Ширина купола у основания (D), м	Ширина верхней кромки (d), м	Отношение		
						D:h	h:d	D:d
Август 1956 г.	320*	320	2,13	500	65	1,57	4,9	7,85
Август 1957 г.	360	40	0,11	560	151	1,55	2,38	3,71
Август 1958 г.	400	40	0,11	560	170	1,40	2,35	3,29
Сентябрь 1959 г.	447,7	47,7	0,11	666	324	1,49	1,38	2,05

* По Г. С. Горшкову.



Фиг. 5. Схема изменения формы и размеров купола вулкана Безымянного:

I—1956 г., II—1957 г., III—1958 г., IV—1959 г.

Составила В. Н. Борисова

Изменение формы и размеров купола показано на схематическом рисунке (фиг. 5).

3. Изучение газового состава и температурного режима фумарол

Фумаролы купола и кратера

У подножия экструзивного купола и в кратере вулкана Безымянного продолжают действовать многочисленные фумаролы. Наиболее интенсивные фумаролы расположены с западной части купола, куда

вследствие сильного камнепада подняться не представилось возможным.

В июле 1958 г. максимальная температура фумарол у южного подножья купола достигала 380°.

Расположенные там же фумаролы с температурой 344° в газовой фазе содержали: HCl —1,80%; H_2S —1,95%; CO_2 —4,7%; H_2 —1,30% (по данным О. Г. Борисова).

Остальную часть газа составлял воздух. В сентябре 1959 г. Л. А. Башариной были исследованы фумаролы с восток-юго-восточной стороны купола. Температура этих фумарол составляла 94—96°. В газовой фазе содержалось: CO_2 —92,00%; SO_2 —0,20%; H_2 —0,65%. Конденсат пара был слабо минерализован и имел рН 3,8—4,0.

В июле 1959 г. Л. А. Башариной были детально исследованы фумаролы в кратере, расположенные в 50—100 м к востоку от купола. Эти фумаролы прибывали из-под навала глыб лавы, погруженных в пепел. Температура газовых струй была около 100°. В составе сухого газа содержалось CO_2 до 95,00%; SO_2 до 0,50%; H_2 до 1,05%; CO до 0,15%. Возгоны состояли из сульфатов. Конденсаты пара имели слабую минерализацию (существенно сульфатную).

Фумаролы агломератового потока

Фумарольная деятельность агломератового потока в 1958—1959 гг. продолжала ослабевать. Распространение фумарол осталось в основном прежним, но их количество сильно сократилось. Основное число фумарольных выходов расположено вдоль направления агломератового потока в местах его наибольших мощностей. В верхней части потока, где мощности его малы, фумаролы почти полностью исчезли.

В апреле 1959 г. края и верхняя часть потока были покрыты снегом. Температура фумарол потока с хорошей естественной каптацией изменилась мало и остается в пределах 80—98°. Эти, а иногда и еще более низкие температуры характеризуют основную массу фумарол потока. В верховьях р. Каменской и истоках Сухой Хапицы благодаря, по-видимому, процессам вторичного разогрева (химические экзотермические реакции) по-прежнему остаются высокотемпературные фумаролы, с температурой более 300°.

В июле-августе 1959 г. было отмечено интенсивное явление временного парового разогрева поверхностных слоев агломератового потока в районе оз. Ледникового. Ледниковое озеро образовалось на поверхности агломератового потока, там где последний примыкает к отрогам сопки Зиминой и питается, помимо атмосферных осадков, водами ледника Желтого. Весенние временные водотоки, сносившие и переотлагавшие агломератовый материал, образовали подпруды, препятствовавшие стоку вод из Ледникового озера. Зеркало озера стало увеличиваться и одновременно с этим поверхность агломератового потока на участках у берегов озера начала интенсивно парить. Образовались тысячи вторичных фумарол. Температура поверхности потока в местах их выхода достигала 85—90°. В мелких заливчиках и лагунах интенсивно заработали сотни грифонов с температурой 95—97°.

С увеличением зеркала озера фронт прогрева поверхности потока паром продвигался до нескольких десятков метров в сутки. Водами поверхностного и подземного стока из Ледникового озера были заполнены воронки вторичных взрывов, в одной из которых образовалось горячее озеро с максимальной температурой 45,5°. К августу 1959 г. площадь

Ледникового озера увеличилась в 2—3 раза по сравнению с прошлыми годами и достигла почти 3,0—3,5 км², а площадь прогрева агломератового материала—более 6 км².

В дальнейшем с уменьшением притока талых вод подобные явления стали прекращаться.

Возникновение явления вторичного парового разогрева участка поверхности потока связано, по-видимому, с нагреванием просачивающихся поверхностных вод еще не остывшим на глубине агломератовым материалом. Образующийся при этом пар по мере продвижения фронта фильтрационных вод, выходя на поверхность, нагревал материал верхней части потока.

Химические анализы проб газа показали, что газовый режим фумарол потока в 1958—1959 г. по сравнению с предыдущими годами изменился. В частности, значительно уменьшилась концентрация кислых газов. Так, в пробах, взятых Л. А. Башариной из фумарол центральной части агломератового потока, содержалось: CO₂ до 7,00%; CH₄ до 6,50%; H₂ до 0,95%; SO до 0,20%. Газы группы серы обнаружены не были. В большинстве проб окись углерода и водород вообще не обнаружены. Среднее содержание CO₂, по данным 20 анализов,—3,2%. Содержание метана в большинстве проб колеблется от 0,3 до 2,0%. Среднее содержание на основании 21 анализа показало его содержание равным 1,8%.

Незначительные количества H₂S (до 0,1%) обнаружены в фумаролах южной и юго-восточной части потока. Отдельные пробы фумарольных газов содержат повышенные количества CO₂ (до 51,4%) и метана (до 7,0%). По мнению Л. А. Башариной, высокое содержание этих газов в отдельных пробах связано с наличием органических остатков, погребенных агломератовым материалом. По мнению О. Г. Борисова, повышенное содержание отдельных газовых компонентов (CO₂, CH₄), по-видимому, также связано и с общими процессами вторичного разогрева агломератового материала летом 1959 г. и обусловлено интенсивным выносом паров фумарол остаточных аклюдированных в породах газов на поверхность.

Конденсаты фумарольных паров минерализованы, как правило, слабо. Наиболее кислые и минерализованные конденсаты паров фумарол в южной и юго-восточной части потока.

Конденсаты паров фумарол, взятые в районе оз. Ледникового, имели pH = 3,2—3,4. Общая минерализация их 320 мг/л. Состав их близок к составу вод Ледникового озера и горячего озерца. Основную часть минерализации представляют сульфаты. В составе катионов преобладают кальций, щелочные металлы, алюминий, железо. Большое влияние на состав вод Ледникового озера и конденсатов фумарольных паров оказывает привнос растворимых компонентов из зоны алунитизации сопки Зиминой.

В центральной части агломератового потока конденсаты сульфатных паров менее кислые (pH 5,0—6,5) и менее минерализованные (общая минерализация 80—90 мг/л).

Около сильнопарящих фумарол, особенно в южной и юго-восточной части потока, образуются незначительные количества возгонов серы и сульфатов.

Высокотемпературные фумаролы в истоках Сухой Хапицы и верховьях р. Каменской представляют собой сухие газовые струи (содержание H₂O—8—15 мг/л). Химический состав их в 1958—1959 г. не изучался. Возгонов на выходах не образовывалось.

4. Сейсмические наблюдения

За 1958—1959 гг. на сейсмической станции Ключи было отмечено около 800 землетрясений с очагом под вулканом Безымянным. Максимальная амплитуда смещения почвы в пос. Ключи при этих землетрясениях колеблется в пределах 0,15—6,00 микрон. Почти все землетрясения были очень слабыми. Разность времен вступления продольной и поперечной волн $S-P = 7,3$ сек. Записи всех землетрясений на сейсмограммах очень похожи друг на друга.

Сейсмическая активность вулкана Безымянного периодически то прекращается, то возобновляется. Длительные периоды покоя сменяются периодами интенсивной сейсмической активности. Каждый цикл такого усиления сейсмической активности характеризуется тем, что после длительного периода покоя (несколько месяцев) появляются отдельные толчки, число которых за сутки постепенно нарастает. Когда число толчков за сутки достигает максимума (несколько десятков, а иногда и более сотни), происходит пепловое извержение вулкана. Возобновление сейсмической активности и пепловые извержения вулкана, очевидно, связаны с ростом купола в его кратере, который растет не постепенно, а рывками, в отдельные периоды. После пеплового извержения сейсмическая активность быстро падает и через несколько дней прекращается.

За рассматриваемый период сейсмическая активность вулкана Безымянного возобновлялась пять раз:

1. С 4 января до 20 февраля 1958 г. отмечено около 300 землетрясений. Максимальное число толчков зарегистрировано 13 февраля (71) и 4 февраля (92). В эти же дни произошло и пепловое извержение вулкана.

Непрерывное вулканическое дрожание отмечалось 7, 11, 14 и 16 февраля.

2. С 27 по 31 декабря 1958 г. зафиксировано около 100 землетрясений. Максимальное число толчков (44) было 28 декабря. В этот же день, во второй половине, в пос. Ключи, наблюдался слабый пеплопад.

3. С 28 февраля по 8 марта 1959 г. произошло около 90 толчков. Максимальное их число (36) приходится на 2 марта. Пеплопада в Ключах не было.

4. С 18 по 31 марта 1959 г. отмечено более 300 толчков. Максимальное число толчков (115) было 29 марта.

29 марта из Ключей наблюдались выбросы белых клубов пара из кратера вулкана на высоту 5—6 км. В пос. Ключи на снегу обнаружен пепел.

5. С 15 по 30 октября 1959 г. насчитано около 110 толчков. Максимальное число толчков (46) было 29 октября. Уже утром 26 октября стало видно, что возможно пепловое извержение. 26 октября вечером об этом была предупреждена группа геологов вулканостанции. В ночь с 26 на 27 октября число толчков увеличилось, и сейсмологи вулканостанции предположили, что в это время произошло слабое пепловое извержение и что, возможно, оно усилится, поэтому вечером 27 октября геологическая группа вулканостанции выехала к вулкану для наблюдений.

III. ПЛОСКИЙ ТОЛБАЧИК

Систематические наблюдения за состоянием вулкана Толбачик в 1958—1959 гг. не проводилось. Имеются лишь материалы отдельных наблюдений, сделанных сотрудниками станции во время полевых работ.

В течение августа 1958 г. вершина Толбачика была видна 13 дней. Все это время наблюдалась умеренная фумарольная деятельность. Высота столба газовых выделений обычно не превышала 300—500 м и только 14 и 25 августа она достигала 1000 м. Наблюдения над вулканом проводились также в августе 1959 г. 18, 19, 23 и с 25 по 28 августа в первой половине дня над кратером было видно газовое облако. 18 и 23 августа высота газового столба достигала 1—2 км. 21 августа умеренное выделение газа продолжалось в течение всего дня.

13 июля 1958 г. кратерную вершину вулкана Плоский Толбачик посетил О. Г. Борисов. Вулкан находился в состоянии покоя. Со дна кратера по трещинам, расположенным в юго-восточной части кратера, поднимались слабые струйки газа. С подветренной стороны слегка ощущался запах сернистого газа и хлористого водорода. Снег на кратерной вершине и юго-восточном склоне Острого Толбачика был покрыт слоем пепла.

При посещении побочного кратера Толбачика извержения 1941 г. (кратер Забытый) было обнаружено слабое парение фумарол на лавовом потоке в кратере. Температура фумарол не превышала 75°.

6 сентября 1958 г. было получено сообщение из Козыревска об оживлении деятельности Еулкана Толбачик. На следующий день сотрудник станции А. Н. Сирин выехал в Козыревск. Толбачик был открыт, но никаких признаков усиления его деятельности заметно не было. По словам сотрудника Сейсмической станции в Козыревске С. В. Попова, днем 6 сентября наблюдался пепловый выброс на высоту, примерно равную трети вулканического конуса, т. е. около 1 км. По наблюдениям А. Н. Сирина, снег в самой верхней части конуса выглядел несколько темнее, чем внизу. Возможно, это было обусловлено небольшим пеплопадом.

При облете вулкана 12 октября 1959 г. отмечено, что из колодезобразного кратера на дне неглубокой плоской чаши на вершине вулкана медленно поднимались клубы белого пара. Верхние части стенок кратера имели буровато-серый цвет, а внутренние, глубокие части кратера—буро-красный оттенок.

Сейсмической активности в районе вулкана Толбачик в 1958—1959 гг. отмечено не было.

IV. ШЕВЕЛУЧ

1. Визуальные наблюдения

Из 730 дней наблюдения (с 1 января 1958 г. по 31 декабря 1959 г.) вулкан Шивелуч был открыт в течение 349 дней. Все это время он находился в состоянии покоя. Из поселка Ключи выделения газов невооруженным глазом заметны не были. Слабая фумарольная деятельность наблюдалась при посещении вулкана в районе Кратерной вершины, куполз Суелич и купола Каран.

2. Изучение газового состава и температурного режима фумарол

Исследовались сольфатарные поля кратерной вершины (центральные фумаролы), фумаролы в эксплозивном кратере купола Суелич и фумаролы купола Каран.

Центральные фумаролы. За последние два года резко изменился температурный и газовый режим фумарол. В 1957 г. температура была в

пределах 260—280°, в 1958 г.—90—91°, в 1959 г.—100—120°.

В составе кислых газов увеличилось содержание углекислого газа, а хлористого водорода уменьшилось. В сухом газе содержалось: CO_2 до 45%; HCl до 0,5%; SO_2 до 3,5%. В конденсатах газа уменьшалось содержание ионов: Cl до 1,0 г/л; SO_4 до 1,6 г/л; SO_3 до 0,58 г/л, pH растворов колеблется в пределах 1,6—2,4.

Фумаролы купола Суелич. Фумарольная деятельность купола Суелич в 1959 г. несколько оживилась. Температура повысилась со 120 в 1957 г. до 240° в 1959 г. (в 1958 г. наблюдения не проводились).

В газовой фазе увеличилось содержание хлористого водорода до 0,13%, уменьшилось количество углекислого газа до 0,25%, сернистого газа до 0,12%. В конденсатах газа увеличилось содержание ионов хлора до 2,60 г/л; SO_4 до 0,56 г/л; SO_3 до 1,50 г/л. Возгоны состоят из хлоридов и сульфатов.

Фумаролы купола Каран. Фумаролы старого купола Каран сохраняют свою температуру в пределах 80—92°. В сухом газе содержалось CO_2 до 95,0%; H_2S до 0,3%; CH_4 до 0,6%, в возгонах, в основном,—сульфаты Na, K, Al.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении состояния вулканов Ключевской группы и вулкана Шивелуч в 1958—1959 гг. особое внимание уделялось геофизическим и инструментальным наблюдениям. Заложена основа для повторных магнитометрических наблюдений, целью которых будет выяснение зависимости магнитного и гравитационного полей вулканов от их состояния. Изучены аномалии вертикальной составляющей магнитного поля над магмоподводящей трещиной Юбилейной. Производится предсказание пепловых извержений вулкана Безымянного по сейсмическим данным.

В ближайшем будущем при изучении состояния вулканов Ключевской группы и вулкана Шивелуч вулкановые геофизические и инструментальные исследования будут расширены.

